

# Eficiencia relativa de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en el Perú: una aplicación del análisis envolvente de datos (DEA)

José Luis Bonifaz F. / Daniel Santín

## Resumen

El objetivo de este estudio es analizar empíricamente la eficiencia técnica relativa de las empresas que operaron en el sector de distribución de energía eléctrica en el Perú, en el período 1995-1998. La metodología empleada para estimar la eficiencia técnica se basa en el análisis envolvente de datos (DEA). La DEA construye, mediante técnicas de programación lineal y a partir de las mejores prácticas observadas, la frontera de producción con respecto a la cual se evalúa la eficiencia de cada unidad productiva. Se observa que, debido a la lenta evolución positiva de la eficiencia media a lo largo del período, el sector no ha logrado ahorros de costos significativos. Esto es, el paso del tiempo ha resultado ser no significativo a la hora de explicar los niveles de eficiencia alcanzados. En segundo lugar, se concluye que, dada la evidencia empírica como el proceso de privatización, *per se*, este no ha supuesto mejoras de eficiencia con respecto a las empresas estatales. Finalmente, podemos decir que la DEA puede ser una herramienta útil y versátil para la medición de la eficiencia relativa de unidades productivas homogéneas. En particular, esta técnica se muestra muy adecuada para el análisis de unidades suministradoras de un mismo servicio dentro del sector público.

## Abstract

The aim of this paper is to analyze the technical efficiency of the companies that operated on the electric power distribution sector in Peru from 1995 to 1998. For this purpose we will employ Data Envelopment Analysis (DEA), and we will point out the main advantages and limitations of this technique. This well-known non-parametric and deterministic tool is used to empirically build the production frontier in this sector. Finally, we will discuss about the topic of efficiency in the public sector comparing the average performance according with the ownership of the capital for public, privatized and private companies. From this empirical analysis we conclude that the privatization process, *per se*, does not suppose improvements of efficiency respect to public companies if we do not capture others characteristics of the market.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es analizar empíricamente la eficiencia técnica relativa de las empresas que operaron en el sector de distribución de energía eléctrica en el Perú, en el período 1995-1998, prestando especial interés al comportamiento de la eficiencia media obtenida según la titularidad del capital de estas empresas.

La metodología empleada para estimar la eficiencia técnica se basa en el análisis envolvente de datos (DEA)<sup>1</sup>, desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes<sup>2</sup>. Esta herramienta es un procedimiento no paramétrico y determinístico de evaluación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades productivas homogéneas. Utilizando las cantidades de *inputs* y *outputs* implicadas en el proceso productivo por cada unidad, y mediante técnicas de programación lineal, la DEA construye, a partir de las mejores prácticas observadas, la frontera de producción con respecto a la cual se evalúa la eficiencia de cada unidad productiva.

Desde distintos ámbitos, la empresa pública ha sido con frecuencia objeto de numerosas críticas por los problemas que plantea su gestión, por la carencia de incentivos al personal, porque sus resultados económicos, en muchos casos negativos y difícilmente justificables en la búsqueda de criterios de equidad, suponen una presión sobre el déficit público, y por los efectos distorsionantes que sobre el dinamismo económico y la competitividad generan su forma de intervención. En efecto, existe una amplia creencia que la empresa pública es *per se* inferior a la privada, por razones intrínsecas a su titularidad.

Sostener este planteamiento sin contrastarlo empíricamente, resulta demasiado simplista y arriesgado. Por ello, en este trabajo, prestaremos especial atención a la comparación de la eficiencia del grupo de empresas públicas, privadas y privatizadas, que actúan en la distribución de energía eléctrica en el Perú.

Siguiendo el proceso iniciado por Chile, a comienzos de los años ochenta, la mayoría de los países de Sudamérica ha implementado fuertes transformaciones en sus sectores eléctricos, que incluyen tanto la reestructuración como la privatización de los monopolios estatales, para introducir competencia en los mercados. Como resultado de estos procesos se ha dado un fuerte cambio en la función del Estado, que ha pasado de productor y propie-

- 
1. Utilizamos las siglas DEA correspondientes al nombre de la técnica en lengua inglesa, *Data Envelopment Analysis*, por el que es comúnmente conocida.
  2. Charnes, Abraham, William Cooper y E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", en *European Journal of Operational Research*, vol. 2, North-Holland: Elsevier Science, B.V., 1978, pp. 429-444.

tario de empresas a regulador de aquellas etapas que constituyen monopolio natural<sup>3</sup> (transmisión y distribución).

En este nuevo papel de regulador, el análisis de la eficiencia relativa de distintos monopolios geográficos se justifica como un instrumento potencialmente valioso para reducir la asimetría de información que caracteriza la relación regulador-empresa, así como para comparar la eficiencia media de las empresas privatizadas con aquellas que aún continúan bajo titularidad pública.

Sin embargo, vale la pena resaltar que, para ser de utilidad en el proceso regulatorio, esta herramienta precisa de dos condiciones. Por un lado, se requiere de un conjunto amplio de empresas comparables e información detallada sobre ellas. Pero esta disponibilidad de datos, si bien necesaria, dista de ser una condición suficiente. Se debe, además, contar con técnicas adecuadas que permitan analizar en detalle la información disponible con referencia a un marco conceptual adecuado.

La estructura de este trabajo es la siguiente. Tras esta introducción, en la primera sección se explica el concepto económico de eficiencia. En la segunda, se llevará a cabo una breve descripción del modelo DEA con el fin que aquellos lectores que desconozcan esta herramienta, puedan familiarizarse con las principales características de esta técnica. En la tercera, se formula el modelo teórico para su estimación y se contrastará si se producen cambios significativos en la eficiencia, como consecuencia del paso del tiempo. En la cuarta sección se discute, de forma ilustrativa, las ventajas que ofrece la técnica DEA para la toma de decisiones y se hace una descripción somera de los resultados obtenidos. En la quinta, analizaremos la importancia de la titularidad del capital en los niveles de eficiencia técnica. Por último, se presentan las conclusiones más relevantes.

## 1. EL CONCEPTO DE EFICIENCIA

En general, los economistas muestran un elevado grado de consenso en considerar que una asignación es eficiente, en sentido de Pareto, cuando no es posible reasignar los recursos existentes de tal forma que alguno (algunos) mejore(n) sin que otro (otros) empeore(n). La situación de óptimo se garantiza si se cumplen las condiciones que caracterizan la eficiencia en la producción, la eficiencia en el intercambio y la eficiencia global.

---

3. Se debe indicar que la potencial actividad de comercialización y la descomposición de la industria en facilidades esenciales, sujetas a regulación de tarifas de interconexión, proveerán alternativas para promover la competencia.

Suele identificarse a Debreu<sup>4</sup> como el primer autor en plantearse el problema de la construcción de una función de producción empírica basada en los datos observados, y medir la eficiencia de cada unidad productiva en relación con aquella. Debreu sugirió una medida consistente de eficiencia con su concepto de "coeficiente de utilización del recurso" y apuntó que una medida natural de la eficiencia productiva es la ratio del costo del nivel óptimo de *inputs* y de *outputs* observados.

$$\frac{px^*}{px^0}$$

Donde  $p$  es el precio de los *inputs* usados en el proceso productivo,  $x^*$  es la cantidad óptima de *inputs* y  $x^0$  es el nivel de *inputs* observado.

Existen dos ventajas derivadas al emplear la medida de eficiencia de Debreu. La primera es su independencia de la escala de los datos, pues su valor estará comprendido entre cero, para el caso más ineficiente, y uno, para el caso más eficiente. La segunda ventaja es la introducción explícita de los precios de los factores productivos. Así, en la ecuación anterior,  $px^*$  es el costo asociado a la combinación de *inputs* eficientes, mientras que  $px^0$  es el costo observado.

Al medir los ratios de costos productivos, el concepto de Debreu mide indirectamente el costo de la ineficiencia productiva. Así, uno menos la ratio de Debreu, es la fracción de costos observados que podrían ser reducidos si la ineficiencia productiva fuese eliminada.

El principal problema de este indicador es obtener, a partir de una observación empírica, el nivel de *input* óptimo  $x^*$ .

Posteriormente, Farrell<sup>5</sup> retomó el trabajo de Debreu y definió una medida alternativa de eficiencia que ha recibido mucha atención en la literatura. El propósito de Farrell era, en sus propias palabras, "suministrar una medida satisfactoria de la eficiencia productiva y mostrar cómo aquella puede ser calculada en la práctica (...) para cualquier organización productiva, desde un taller a la economía global"<sup>6</sup>. Farrell observó que podía obtenerse una medida análoga de eficiencia productiva, comparando los *outputs* óptimos y observados con los *inputs* óptimos y observados considerando con anterioridad.

$$\frac{wy^*}{wy^0}$$

4. Debreu, Gerard, "The Coefficient of Resource Utilization", en *Econometrica*, vol. 19, No. 3, Chicago: The University of Chicago Press, julio 1951, pp. 273-292.

5. Farrell, Michael J., "The measurement of efficiency productive", en *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A (General)*, vol. 120, Parte 3, Londres: Blackwell Publishers, 1957, pp. 253-290.

6. *Ibid.*, p. 253.

Dada una función productiva, podemos derivar el nivel de *output* óptimo predicho por la función  $y^*$ , que junto al *output* observado  $y^o$ , y el precio del *output*  $w$ , definen el concepto de eficiencia de Farrell. Esta medida tiene las mismas ventajas que el concepto de Debreu, pero la construcción empírica de la medida es una aplicación directa de la frontera productiva.

Por otro lado, la mayor parte de los economistas entiende que la ineficiencia tiene básicamente dos dimensiones.

La ineficiencia técnica, como su propio nombre indica, es un concepto tecnológico que intenta analizar los procesos productivos y la organización de tareas, fijando su atención en las cantidades de *inputs* utilizadas y no en sus costos o precios. Puede expresarse tanto en términos de *outputs* como en términos de *inputs*. En el primer caso, indicaría el logro del máximo producto o servicio posible para una combinación de factores. En el segundo, indicaría la cantidad mínima de *inputs* requerida, combinados en una determinada proporción, para un nivel dado de producto o de servicio.

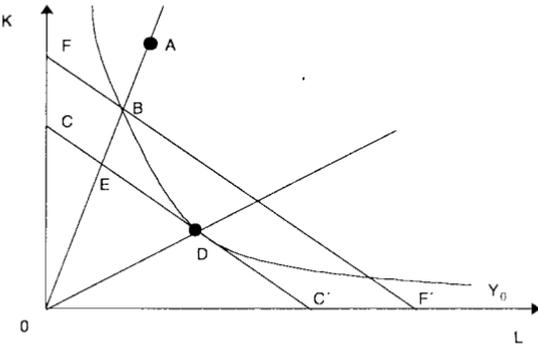
Suponiendo que se ha logrado la eficiencia técnica, la eficiencia asignativa implica alcanzar el costo mínimo de producir un nivel dado de producto cuando se modifican las proporciones de los factores de producción, utilizados de acuerdo con sus precios y productividades marginales. Alternativamente, se puede definir como la obtención de una cantidad máxima de producto manteniendo el costo a través del reajuste de los factores de producción, según sus costos de uso.

En definitiva, en la medición de la eficiencia técnica se parte de una proporción concreta de factores. Esta proporción puede variar si, por ejemplo, se utiliza una tecnología distinta, pero no por precios o productividades, como ocurre con la eficiencia asignativa.

Una forma alternativa de definir la eficiencia técnica y asignativa sería la siguiente: en el caso de la eficiencia técnica, nos encontraríamos ante un proceso de producción caracterizado por la utilización de dos *inputs* para la obtención de un único *output*, considerando la tecnología fija, y estaríamos actuando eficientemente desde el punto de vista técnico, cuando nos encontráramos en un punto sobre la isocuanta unitaria que caracteriza la tecnología frontera. Alternativamente, si suponemos ahora que la tecnología puede variar o, lo que es lo mismo, que podemos utilizar diferentes combinaciones de *inputs*, se define una situación como eficiente asignativamente cuando, siéndolo desde el punto de vista técnico, estamos empleando la menor cantidad de recursos posible, dado los precios de los factores. En este caso, nos encontramos sobre la curva isocosto más baja.

En el Gráfico No. 1 se recoge la situación de una planta productiva que para producir una unidad de *output* utiliza la combinación de factores productivos representada por el punto A. Suponiendo que la función de producción es conocida y que existen rendimientos constantes a escala, la curva  $Y_0$  es lo que Farrell denomina isocuantas unitaria, y no es más que las combinaciones de factores productivos necesarios para producir una unidad de producto.

**Gráfico No. 1**  
**Eficiencia técnica y eficiencia asignativa**



Así, dada la situación descrita en la figura anterior, podemos deducir que la unidad productiva A no es técnicamente eficiente en el sentido de Farrell, ya que la isocanta  $Y_0$  indica que el *output* producido por la entidad A podría ser obtenido utilizando una proporción  $OB/OA$  de los *inputs* que realmente utiliza y sin variar su combinación.

Farrell define el cociente  $OB/OA$  como el índice de eficiencia técnica de la unidad productiva A. Observamos cómo la medida de eficiencia técnica de Farrell tomará el valor 1, si la entidad es técnicamente eficiente, y valores más próximos a cero, cuanto más ineficiente sea la entidad valorada.

La figura anterior permite también establecer la medida de la eficiencia precio. Si se supone que los precios de los factores productivos están representados por la pendiente de la recta  $CC'$ , el punto D es aquel en el que se minimiza el costo. Tanto B como D son eficientes técnicamente por estar situados sobre la isocanta, pero los costos de producción en D son tan solo una fracción  $OE/OB$  de los costos de producción en D, razón por la cual Farrell considera al cociente  $OE/OB$  como la eficiencia asignativa de B. Esta medida de eficiencia asignativa, que Farrell refiere al punto B, mide también la eficiencia asignativa de la entidad A que estamos evaluando. En efecto, la eficiencia precio de A mide exclusivamente el exceso de costos en que se está incurriendo por combinar los *inputs* de una forma diferente

a la óptima. Esto indica que la valoración de la eficiencia asignativa pura precisa la eliminación de la eficiencia técnica, lo que en nuestro caso equivale a situar la entidad A en el punto B y valorar el exceso de costos en esa situación, representada por el salto de B a D.

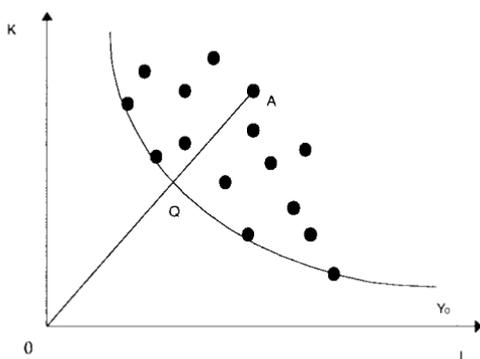
Farrell continúa definiendo una medida de eficiencia global como el producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa:

$$\text{Eficiencia global (OE/OA)} = \text{Eficiencia técnica (OB/OA)} * \text{Eficiencia asignativa (OE/OB)}$$

El análisis efectuado a partir de la figura anterior ha partido del conocimiento de la función de producción, representada por medio de la isocuanta  $Y_0$ , la cual constituye, como se ha visto, el punto de referencia para llevar a cabo las estimaciones. Las situaciones reales, sin embargo, no se suelen caracterizar por el conocimiento de esas relaciones técnicas, lo cual complica la medición operativa de la eficiencia. Este problema es considerado también por Farrell, quien propone un método original de estimación de la función de producción, a partir de los datos de las entidades implicadas en la valoración. Es justamente la estimación de lo que él denomina una función de producción empírica, lo que ha tenido una mayor repercusión en la literatura posterior sobre la medición de la eficiencia en aplicaciones reales.

Para explicar la propuesta de Farrell, nos serviremos de nuevo del análisis gráfico. En el Gráfico No. 2 se representan, mediante puntos, las combinaciones de factores utilizadas por diferentes unidades productivas para obtener una unidad de *output*.

**Gráfico No. 2**  
La medición empírica del concepto de eficiencia



Farrell impone dos condiciones a la isocuanta que va a estimar: que sea convexa y que no tenga en ningún punto pendiente positiva. La primera, normalmente planteada en teoría económica, significa que si dos puntos se pueden alcanzar en la práctica, entonces también se podrá obtener cualquier otro que sea una media ponderada de aquellos; la segunda, por su parte, es necesaria para asegurar que el aumento de los factores utilizados no implicará nunca una reducción en la cantidad de producto.

A partir de estas condiciones es fácil deducir que la isocuanta eficiente está representada por la curva  $Y_0$ , es decir, por el conjunto de puntos más próximos al origen, las unidades más eficientes en términos relativos, que puedan ser unidos a través de una curva convexa que no tenga en ningún punto la pendiente positiva. Determinada la isocuanta eficiente, el proceso de medir la eficiencia de cualquier unidad productiva es el que hemos especificado en el comentario del gráfico anterior. Como allí destacábamos, se trata de comparar cada entidad que no pertenece a la isocuanta con otra entidad eficiente que utilice los factores productivos en la misma proporción (esto es, que se encuentre en el mismo radio vector desde el origen). En general, esa comparación se realizará con unidades hipotéticas que, empleando los factores en la misma proporción, se encuentran sobre la isocuanta eficiente, pero que no se corresponden con ninguna observación real.

Así, en el gráfico anterior, la eficiencia del punto A se mide comparando los factores que utiliza con los que usa la unidad ficticia Q. Farrell señala que la esencia de su propuesta radica, precisamente, en la construcción de esas unidades hipotéticas y no en la representación de la isocuanta.

## 2. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS

El modelo DEA fue desarrollado casi treinta años más tarde, basándose en el trabajo seminal de Farrell, por Charnes, Cooper y Rhodes<sup>7</sup>. Mediante la utilización de técnicas de programación lineal, la DEA compara la eficiencia de un conjunto de unidades que producen *outputs* similares, a partir de un conjunto común de *inputs*.

La eficiencia de la unidad que se pretende evaluar, se define como la ratio de la suma ponderada de *outputs* con respecto a la suma ponderada de *inputs*

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{i0}}$$

7. Charnes, Abraham, William Cooper y E. Rhodes, *op. cit.*

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1$$

$$U_r, V_i \geq 0; r = 1 \dots s; i = 1 \dots m$$

Donde:

$Y_{r0}$	=	Cantidad de <i>output</i> $r$ producido por la unidad evaluada.
$X_{i0}$	=	Cantidad de <i>input</i> $i$ consumido por la unidad evaluada.
$Y_{rj}$	=	Cantidad de <i>output</i> $r$ producido por la unidad $j$ .
$X_{ij}$	=	Cantidad de <i>input</i> $i$ consumido por la unidad $j$ .
$U_r$	=	Ponderación asignada al <i>output</i> $r$ .
$V_i$	=	Ponderación asignada al <i>input</i> $i$ .

El problema fraccional formulado consiste en encontrar el conjunto de ponderaciones que maximiza el valor de los *outputs* de la unidad analizada con respecto a sus *inputs*, con la restricción que aplicando estas mismas ponderaciones a las restantes unidades, ninguna debiera tener una relación *output/input* mayor que uno. Si, sujeto a esta restricción, fuera factible encontrar un conjunto de ponderaciones con el que la ratio de eficiencia de la unidad productiva evaluada sea igual a 1, entonces, será considerada eficiente. En caso contrario, la unidad será considerada ineficiente, ya que incluso con el conjunto de ponderaciones más favorable puede encontrarse una ratio de eficiencia mayor.

La DEA presenta una serie de características que lo hacen especialmente útil para realizar la evaluación de la eficiencia de las unidades productivas. La principal ventaja de esta técnica es que, a diferencia de los métodos paramétricos<sup>8</sup>, no impone ninguna forma funcional a priori sobre los datos. Esto es, la eficiencia no es evaluada sobre la base de una función de producción ideal; los índices de eficiencia se calculan a partir de las mejores prácticas observadas. En segundo lugar, el modelo DEA se adapta al carácter multidimensional de determinadas actividades productivas, así como a la ausencia de precios de mercado para determinados factores productivos. Además, es un método sumamente flexible, que establece pocos supuestos a la hora de trazar la frontera productiva y permite introducir factores que están fuera del control de las unidades analizadas<sup>9</sup>.

- 
- Para una excelente discusión comparativa entre las ventajas e inconvenientes que plantean las técnicas paramétricas y no paramétricas, así como de las fronteras determinísticas y estocásticas, puede acudirse a Lovell, C.A. Knox, "Production Frontiers and Productive Efficiency", en Fried, H.O., C.A. Knox Lovell y S.S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency*, Oxford: Oxford University Press, 1993, pp. 3-67.
  - Véase Banker, Rajiv D. y R. C. Morey, "Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs", en *European Journal of Operational Research*, vol. 34, No. 4, North-Holland: Elsevier Science B.V., 1986, pp. 513-521.

Una vez comentadas las principales ventajas del modelo, señalamos a continuación algunas de sus debilidades. En general, la DEA, dado su carácter determinista, estima la frontera eficiente sin realizar ningún tipo de supuesto acerca de la forma de la distribución del término de error. Por otro lado, el carácter no paramétrico del modelo hace que las variables incluidas no posean propiedades estadísticas y que la contrastación de hipótesis resulte imposible.

Un aspecto que es importante resaltar es que las medidas de eficiencia derivadas de la DEA, pueden ser muy sensibles al número de observaciones y al número de variables incluidas en el modelo. A medida que aumenta la relación variables (explicativas más explicadas)/tamaño de la muestra<sup>10</sup>, la habilidad de la DEA para discriminar entre las firmas disminuye significativamente, ya que como señalan Yunos y Hawdon<sup>11</sup>, se vuelve más probable que una determinada firma encuentre algún conjunto de ponderaciones de *outputs* e *inputs* que la haga aparecer como eficiente. Esto es, muchas firmas pueden ser consideradas 100% eficientes no porque dominen a otras firmas, sino simplemente porque no hay otras firmas o combinaciones de firmas con las que puedan ser comparadas en tantas dimensiones. Este problema es común en los trabajos empíricos<sup>12</sup>. El número de grados de libertad en nuestro caso, como veremos, no plantea especiales problemas en este sentido.

### 3. SELECCIÓN DE VARIABLES Y ESPECIFICACIÓN DEL MODELO

La primera decisión que se debe realizar para llevar a cabo la medición de la eficiencia está relacionada con las variables a incluir en el modelo. Neuberger<sup>13</sup> sugiere cuatro productos posibles en la actividad de distribución de energía eléctrica: número de clientes servidos, total de KW/h vendidos, km de líneas de distribución y km<sup>2</sup> de área de distribución. Burns y Weyman-Jones<sup>14</sup> agregan algunas variables adicionales: la máxima demanda, que determina la capacidad total del sistema; la dispersión de los usuarios a través de la región de distribución, que determina la configuración del sistema; la capacidad de transforma-

- 
10. Un conocido heurístico señala que al menos el número de observaciones debería ser mayor al número de variables *input* más el número de variables *output* multiplicado por tres. Si bien estos heurísticos carecen de toda justificación teórica, al menos nos dan una idea de los grados de libertad necesarios para aplicar la DEA.
  11. Yunos, J. y D. Hawdon, "The efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: An Intercountry Comparison using DEA", en *Energy Economics*, vol. 19, No. 2, North-Holland: Elsevier Science B.V., 1997, pp. 255-269.
  12. Véase, por ejemplo, Rodríguez Pardina, Martín, Martin Rossi y Christian Ruzzier, *Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana*, Serie Texto de Discusión, No. 15, Buenos Aires: Centro de Estudios Económicos de la Regulación, Instituto de Economía UADE, diciembre 1999.
  13. Neuberger, Lelan G., "Two issues in the Municipal Ownership of Electric Power Distribution", en *The Bell Journal of Economics*, vol. 8, No. 1, California: Rand, 1977, pp. 303-323.
  14. Burns, Phil y Tom Weyman-Jones, "Cost functions and cost efficiency in electricity distribution: a stochastic frontier approach", en *Bulletin of Economic Research*, vol. 48, No. 1, Cambridge: Frontiwier Economics, 1996.

ción, que afecta a las pérdidas de la red; y la estructura de la demanda, que determina las diferentes capacidades a las que deben operar las líneas a diferentes horas.

El problema conceptual a resolver es: cuál de estas variables es el producto o si varias de ellas lo son. Neuberger descarta la posibilidad de tratar a las empresas del sector como multi-productoras, ya que a las variables anteriormente descritas no es posible fijarles un precio y venderlas separadamente (por ejemplo, una vez que se adopta al número de clientes como producto, siendo su precio el ingreso anual promedio de la firma por cliente, los KW/h ya no pueden ser vendidos separadamente). Dado que las variables restantes no pueden ser consideradas productos, pueden ser introducidas en el modelo como características específicas de las empresas que permiten realizar comparaciones entre ellas.

La variable explicada en nuestro modelo será el costo de distribución neto de los gastos en energía (COSTO, en miles de nuevos soles) y los regresores serán los siguientes: salarios (SALARIO, en nuevos soles), número de clientes (CLIENTES), ventas finales (VENTAS, en MWh), densidad de la población en el área de concesión (DENSIDAD, en habitantes por kilómetro cuadrado) y proporción de ventas a clientes residenciales (una *proxy* de la estructura del mercado, ESTRUCT).

Antes de pasar a aplicar el modelo DEA, estudiaremos si existen variaciones significativas del nivel de eficiencia de las empresas, derivadas del paso del tiempo, que podríamos asociar al cambio tecnológico. Con este fin, se incluyó en el siguiente modelo una tendencia lineal para analizar el cambio tecnológico ahorrador de costos. La función inicial de costos a ser estimada es:

$$\ln \text{COSTOS} = \beta_0 + \beta_1 \text{SALARIO} + \beta_2 \ln \text{CLIENTES} + \beta_3 \ln \text{VENTAS} + \beta_4 \ln \text{DENSIDAD} + \beta_5 \text{ESTRUCT} + \beta_6 \text{TIEMPO}$$

donde  $\ln$  denota el logaritmo neperiano.

La Tabla No. 1 presenta un resumen de las estadísticas básicas de la muestra de las 18 empresas utilizadas. La base de datos utilizada se presenta en el Anexo No. 1.

**Tabla No. 1**  
**Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas: 1995-1998**

Variable	Tamaño de la muestra	Media	Desviación estándar
Costo de distribución	58	24.664	35.728
Salarios	60	44.026	21.617
Número de clientes	60	187.741	218.437
Ventas	60	391.604	661.245
Densidad	60	72	105
Estructura del mercado	60	0,59	0,15

Las estimaciones máximo verosímiles (MV) del modelo<sup>15</sup> se presentan en la Tabla No. 2. Como se puede observar en dicha tabla, las variables SALARIO, VENTAS, DENSIDAD y ESTRUCT, además de la constante, resultaron significativas en los niveles usuales de confianza, mientras que no fue posible rechazar la hipótesis nula para las variables CLIENTES y TIEMPO.

**Tabla No. 2**  
**Estimaciones MV del modelo**

Variable	Estimación estocástica con MV	T student	Modelo determinístico de efectos aleatorios	T student
Constante	-6,595	(-7,070,	-6,036	(-5,656)
Ln SALARIO	0,214	( 1,786)	0,231	( 1,928)
Ln CLIENTES	0,112	( 0,842)	0,190	( 1,076)
Ln VENTAS	0,843	( 5,960)	0,812	( 4,244)
Ln DENSIDAD	0,085	( 1,836)	0,034	( 0,470)
ESTRUCT	1,219	( 1,993)	1,110	( 1,652)
TIEMPO	0,052	( 1,318)	0,044	( 0,987)
$\mu$		0,924	( 4,196)	

El cambio tecnológico ahorrador (en este caso des-ahorrador) de costos debe ser analizado a partir del coeficiente asociado a la variable TIEMPO. La tasa total se obtiene como la derivada del logaritmo neperiano de la función de costos con respecto al tiempo,  $dC/dt$ , que en este caso, en particular, es igual a  $\beta_{6t}$ .

15. Para una extensión de los resultados de eficiencia de las empresas utilizando el modelo MV, puede consultarse Bonifaz, José L. y Martín Rodríguez, *Distribución eléctrica en el Perú: regulación y eficiencia*, Serie Diagnóstico y Propuesta, No. 3, Lima: Consorcio de Investigación Económica, CIUP, abril 2001.

$$\delta \text{ Ln COSTOS} / \delta \text{ TIEMPO} = 0,052^{16}$$

Sin embargo, vale la pena resaltar que el coeficiente asociado al TIEMPO no es significativo en los niveles usuales de confianza<sup>17</sup>. Esto es, no se puede rechazar la hipótesis que no ha habido desplazamientos de la frontera en el período analizado. Por ello, en la aplicación de la técnica DEA, tomaremos los datos de cada empresa en cada año como una unidad productiva diferente, lo que nos permitirá contar con suficientes grados de libertad para llevar a cabo el ejercicio.

#### 4. RESULTADOS

Dadas las 57 unidades<sup>18</sup> correspondientes a las 19 empresas distribuidoras de energía eléctrica y las variables de producción consideradas, hemos obtenido los índices de eficiencia que recogemos en el Anexo No. 2. Las empresas han sido evaluadas considerando rendimientos constantes (RCE) y variables (RVE) a escala, siguiendo una orientación de maximización del *output*. Hay que apuntar que la variable *output* fue introducida como la inversa del logaritmo neperiano del costo, con el fin que el programa identificase los aumentos de esta variable como reducciones en el costo.

Podemos observar cómo la eficiencia media alcanzada, suponiendo las distintas escalas, es muy parecida y, de igual forma, que ninguna compañía mejora en su *ranking* de eficiencia con respecto a las demás, salvo las 4 empresas que pasan a ser eficientes bajo el supuesto de rendimientos variables a escala. Es más, haciendo la prueba estadística de la *t* para contrastar la diferencia de medias entre dos muestras suponiendo varianzas iguales, obtenemos, siendo la hipótesis nula que la diferencia de medias es igual a cero, un *p*-valor igual a 0,36 que nos indica que al 95% no podemos rechazar esta hipótesis. Este resultado significa que la escala en la que actúan las empresas no afecta significativamente su eficiencia, por lo que a la hora de analizar los resultados, emplearemos los datos obtenidos bajo RCE.

- 
16. Vale la pena aclarar que el cambio analizado es supuesto neutral. El cambio tecnológico ahorrador de costo no neutral debe ser analizado a partir de una función de costos bien especificada, esto es, que posea como regresores a todos los *inputs* y que sea homogénea de grado 1 en precios de los factores.
17. En los casos que se rechaza la hipótesis de eficiencia constante, el cambio técnico puede ser analizado desde el enfoque estocástico paramétrico de los índices de Malmquist. Estos índices permiten la descomposición de las variaciones de productividad en movimientos de la frontera y efectos de *catching-up*. Los índices de Malmquist multiplicando el cambio tecnológico ahorrador de costos y el índice de cambio en la eficiencia, donde el índice de cambio en la eficiencia de la firma *i* entre los momentos *i* y *t*, es: Índice de cambio en la eficiencia =  $EF_{it} / EF_{is}$ .
18. Para la realización del análisis DEA, hemos excluido a las empresas Coelvisa 1998 y Electro Oriente 1998, por no tener los datos del costo. También hemos excluido a Coelvisa 1997, por presentar 0,00 como valor de la estructura del mercado, lo que la haría comportarse como un punto de *extrema eficiencia* en la muestra y falsearía la eficiencia media del resto de unidades.

Como indicamos anteriormente, la información ofrecida por el modelo DEA no se limita solamente al cálculo de los índices de eficiencia de las unidades evaluadas. Antes de comentar los resultados relativos a la eficiencia actual y la evolución de este indicador en las empresas distribuidoras de energía eléctrica, ilustraremos, a través de un breve ejemplo, cómo los resultados obtenidos por esta técnica nos pueden ayudar a realizar recomendaciones concretas a cada unidad productiva. Para este fin tomaremos como ejemplo a dos empresas ineficientes, Electro Centro y Sersa, en el año 1998.

### Grupo de referencia

La DEA ofrece a cada unidad productiva considerada técnicamente ineficiente, la posibilidad de compararse con otras unidades productivas eficientes que se acercan en actuación, escala y recursos a la actividad de la empresa que queremos evaluar. Desde otro punto de vista, lo que hace la DEA es ofrecer a cada unidad ineficiente, los datos productivos de las empresas que se encuentren más cercanas a ella en la frontera productiva.

El Gráfico No. 3 muestra un ejemplo de cómo las unidades hipotéticas son generadas. Supongamos, para simplificar, que un *output* es producido a partir de dos *inputs*,  $X_1$  y  $X_2$ . La eficiencia de cada unidad productiva vendrá dada por una medida radial. Así, la unidad H es ineficiente con respecto a las unidades C y D, dado que  $OG/OH < 1$ . Dado que la unidad G no existe, debemos suponer que la combinación lineal de *inputs* permite alcanzar un objetivo eficiente  $OG^*$  para la unidad H, de tal forma que:

$$OG^* = (OG/OH) \times OH$$

donde el contenido entre paréntesis es el valor escalar de la eficiencia y OH representa la utilización actual de *inputs* de la unidad H.

En principio, esta comparación resulta muy adecuada para evaluar el comportamiento de las empresas ineficientes a partir de una empresa eficiente, generada sobre la frontera de producción a partir de los datos de empresas reales eficientes, que formarán el *peer group* de la unidad analizada. Como muestra la Tabla No. 3, la empresa ECENT98 es relativamente ineficiente al ser comparada con un centro "hipotético", formado a partir de tres empresas que son evaluadas como eficientes, Electro Ucayali en los años 1995 y 1998 y Sersa en 1995. El parámetro *lambda* muestra el peso que cada empresa eficiente tiene en la construcción de este centro, que hemos denominado *hipotético*, y que sirve de referencia a ECENT98. Así, EUCA98 es la que mayor peso ejerce, seguida de EUCA95 y, por último, de SERSA95 con solo el 17,5%.

Gráfico No. 3  
La construcción de unidades productivas hipotéticas

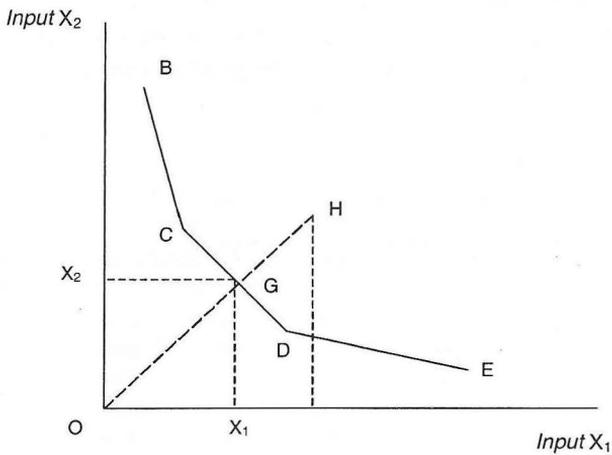


Tabla No. 3  
Grupo de referencia para Electro Centro 1998

Peer Group para ECENT98		eficiencia	61,79% radial	
ECENT98		EUCAY95	EUCAY98	SERSA95
ACTUAL	LAMBDA	0,288	0,533	0,175
249.531,0	-CLIEN	20.828,2	14.413,5	684,9
27,0	-DENS	6,4	5,4	27,0
0,49	-ESTR	0,49	0,23	0,15
45.269,0	-SALARI	10.498,9	45.269,0	1.263,1
279.143,0	-VENTAS	22.123,1	40.608,3	541,9
0,0997	+INCOST	0,1266	0,0844	0,0547

De la comparación exhaustiva con la forma de actuar de estas tres empresas, investigaríamos por qué ECENT98 se comporta de forma ineficiente y cuáles serían las medidas gestoras a tomar para convertir su actuación en eficiente.

### Objetivos de recursos y de resultados

El análisis DEA ofrece igualmente una valiosa información sobre los objetivos de *inputs* y *outputs*, para que cada unidad productiva ineficiente acabe alcanzando la eficiencia. En este caso, tomaremos como ejemplo a SERSA98. Para esta empresa, cercana a la eficiencia, los objetivos productivos quedan especificados en la Tabla No. 4.

**Tabla No. 4**  
**Objetivos productivos para SERSA98**

Objetivos para SERSA98		eficiencia	81,11% radial	
VARIABLE	ACTUAL	OBJETIVO	POR ALCANZAR	ALCANZADO
-CLIEN	3.331,0	3.331,0	0,0%	100,0%
-DENS	125,0	125,0	0,0%	100,0%
-ESTR	0,73	0,73	0,2%	99,8%
-SALARI	10.333,0	6.602,6	36,1%	63,9%
-VENTAS	2.807,0	2.681,2	4,5%	95,5%
+INCOST	0,2078	0,2562	23,3%	81,1%

En este caso, la DEA revela cómo esta empresa tiene unos salarios relativamente elevados con relación a otras empresas que producen el mismo servicio, con cifras semejantes en el resto de variables. Estos salarios podrían ser reducidos en torno al 36%, en el caso que el centro actuara como el centro *hipotético* que se sitúa sobre la frontera, y podrían seguir manteniendo constante su *output*. El objetivo en la reducción de costos debería mejorar en torno al 19%. Asimismo, comprobamos cómo la DEA señala a la empresa que los recursos ya están siendo utilizados de forma óptima en determinadas variables, y que ningún recorte sería necesario.

En nuestro ejemplo del Gráfico No. 3, podemos observar que para alcanzar la eficiencia se debe producir una reducción equiproporcional de cada *input* en la cuantía:

$$1 - OG/OH$$

Como el lector habrá deducido, sin duda, existen numerosas limitaciones a la hora de aplicar estas medidas "de una sola vez", razón por la cual los resultados deben ser la señal de alarma que haga que nos replanteemos si la empresa está actuando convenientemente para sus intereses. Ligar parte del salario a objetivos de producción, el acercamiento gradual a la frontera productiva a través de varios años, además del fomento de la inversión en I+D ahorrador de costos, parecen, sin duda, medidas bastante más adecuadas a tomar; por supuesto, siempre antes de un profundo estudio contextual para cada empresa.

### Evolución temporal de la eficiencia

En la Tabla No. 5 podemos observar la evolución de la eficiencia de las empresas distribuidoras de energía eléctrica. De ellas, doce tienen en 1998 un nivel de eficiencia mayor al de 1995 y tan solo Sersa, Ede Cañete y Electro Oriente actúan con menor eficiencia. De esta forma, observamos la evolución positiva de la eficiencia media del sector a lo largo del período analizado.

**Tabla No. 5**  
**Evolución temporal de la eficiencia de las empresas**

	1995	1996	1997	1998	EF. Media	Ranking
Ede Cañete	91,06	72,07	69,21	84,56	79,23	3
Edelnor (Cons.)	39,18	37,55	37,88	46,67	40,32	14
Electro Centro	56,86	58,14	58,91	61,79	58,93	8
Electro Nor Oeste	46,89	52,08	50,78	66,36	54,03	10
Electro Norte	47,43	48,64	48,19	60,87	51,28	11
Electro Norte Medio	47,19	48,38	46,66	56,74	49,74	12
Electro Oriente	100,00	90,63	83,20	-	91,28	5
Electro Sur	65,87	60,72	58,11	76,08	65,20	6
Electro Sur Este	59,58	59,93	58,45	61,15	59,78	7
Electro Sur Medio	60,27	56,42	100,00	99,68	79,09	4
Electro Ucayali	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1
Emsemsa	-	-	100,00	100,00	100,00	1
Luz del Sur	40,58	39,89	40,13	48,83	42,36	13
Seal	57,34	53,14	56,07	66,52	58,27	9
Sersa	100,00	100,00	89,33	81,11	92,61	2
<i>Efic. Media</i>	65,16	62,69	66,46	72,17	68,14	

En el Anexo No. 3 se muestra una evolución gráfica del comportamiento de las empresas a lo largo del período. Además de los excelentes resultados alcanzados por la empresa privada Emsemsa, sin duda destaca el caso de la empresa estatal Electro Ucayali, cuya actuación se ha mantenido en la frontera a lo largo de los cuatro años considerados. Igualmente destaca el caso de Electro Sur Medio, pues desde su privatización en febrero de 1997, ha pasado a ser totalmente eficiente. Uno de los casos más alarmantes es probablemente el caso de Sersa, empresa privada que ha evolucionado a la baja en sus resultados de eficiencia.

### Otros indicadores de eficiencia alternativos

El modelo DEA es considerado por distintos autores como una extensión del análisis de ratios *output/input*. En la Tabla No. 6 se muestran dos medidas tradicionales de productividad parcial, alternativas a los niveles de eficiencia obtenidos por el modelo DEA: el número de clientes por empleado y el porcentaje de pérdidas en el que incurre la empresa.

**Tabla No. 6**  
**Ranking de eficiencia según distintos indicadores, 1998**

	Clientes por empleado	% pérdidas	Eficiencia DEA
Ede Cañete	1.169 ( 2)	23,8 (14)	3
Edelnor (Zona Lima)	1.073 ( 3)	31,4 (16)	14
Edelnor (Zonal Chancay)	1.568 ( 1)	22,3 (12)	
Electro Centro	621 (11)	23,1 (13)	8
Electro Nor Oeste	655 (10)	21,3 (11)	10
Electro Norte	402 (15)	20,4 (10)	11
Electro Norte Medio	808 ( 7)	19,3 ( 9)	12
Electro Oriente	534 (13)	14,6 ( 8)	5
Electro Sur	712 ( 9)	25,3 (15)	6
Electro Sur Este	829 ( 6)	11,1 ( 7)	7
Electro Sur Medio	427 (14)	10,9 ( 6)	4
Electro Ucayali	807 ( 8)	10,3 ( 5)	1
Emsemsa	337 (16)	10,0 ( 4)	1
Luz del Sur	1.000 ( 4)	8,5 ( 3)	13
Seal	978 ( 5)	8,0 ( 2)	9
Sersa	555 (12)	5,0 ( 1)	2

A simple vista, observamos que los rangos de eficiencia obtenidos son notablemente distintos en función del indicador utilizado. Esta falta de consistencia la podemos explicar como consecuencia de que los indicadores de productividad parcial o de ratios, solo toman en cuenta determinados aspectos de la actividad de la empresa, sin ponderar otros factores que pueden incidir en este resultado. Así, consideramos que la DEA es más adecuada para la medición de la eficiencia por su carácter multilateral en la selección de *inputs* y *outputs*, que la hace considerar distintos aspectos del proceso productivo.

## 5. EMPRESA PÚBLICA VERSUS EMPRESA PRIVADA

Existen una serie de argumentos que justifican normativamente la existencia de la empresa pública. En primer lugar, existe un amplio acuerdo en que una empresa pública debe

asumir las funciones que una empresa privada no puede acometer eficientemente por la presencia de fallas de mercado. Nos estamos refiriendo a los casos en los que se tienen problemas de información asimétrica, de existencia de un monopolio natural o como consecuencia de efectos externos. Otros argumentos tradicionalmente citados para defender la existencia de la empresa pública son: la protección de la industria incipiente, el abastecimiento de productos estratégicos o criterios de redistribución de la riqueza.

Para llevar a cabo un análisis de la eficiencia relativa en función de su titularidad, no podemos abstraernos de las características de la estructura de mercado en la que opera. En competencia perfecta, la iniciativa privada orientada por la maximización del beneficio garantiza resultados eficientes. En principio, nada impediría que la empresa pública alcance idénticos resultados. Sin embargo, la multiplicidad de objetivos heterogéneos<sup>19</sup>, la falta de restricciones presupuestarias y la estructura de incentivos pueden apartar a la empresa pública de alcanzar la máxima eficiencia<sup>20</sup>.

Por otro lado, cuando nos alejamos de estructuras de mercado de competencia perfecta, la maximización del beneficio no es condición necesaria y casi nunca suficiente de eficiencia, por lo que una empresa pública podría teóricamente producir resultados superiores en términos de eficiencia a los de una empresa privada.

Actualmente, en el sector de distribución eléctrica en el Perú existen 19 empresas<sup>21</sup> distribuidoras, de las cuales 9 han sido privatizadas y 10 pertenecen aún al Estado. De estas últimas, tres forman parte del Sistema Interconectado del Norte y el resto son empresas regionales. En la Tabla No. 7 se muestra cuál es la titularidad de cada una de las empresas, así como el año en el que fueron privatizadas.

Para estimar si la titularidad de la empresa influye en el nivel de eficiencia, hemos agrupado bajo el epígrafe "privadas", a todas aquellas empresas cuyo capital ha sido siempre privado; "públicas", a aquellas administradas por el Estado peruano; y "privatizadas", a todas aquellas que fueron estatales y ahora son privadas<sup>22</sup>.

19. El criterio de rentabilidad no se puede usar sin más correcciones en la actividad pública. Una empresa rentable que contamina puede dejar de obtener beneficios, si se considera un costo el efecto externo negativo que origina. Una empresa municipal de transporte urbano que aplique sus tarifas de acuerdo con sus costos medios, puede presentar pérdidas financieras que se tornen en beneficios desde el punto de vista de la sociedad y de los efectos externos obtenidos en la descongestión del tránsito.

20. Tirole, Jean, "The Internal Organization of Government", en *Oxford Economic Papers*, vol. 46, Londres: Oxford University Press, 1994, pp. 1-29.

21. En este trabajo no hemos podido contar con los datos de Albaco, Coelvisa y Electro Pangoa.

22. Hemos considerado a la empresa como unidad productiva privatizada en función del año en el que fue privatizada, si bien este criterio es arbitrario, pues parte del ejercicio fue estatal.

**Tabla No. 7**  
**Titularidad de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, 1998**

	Titularidad	Fecha de privatización
Electro Centro	(P)	Nov. 1998
Ede Cañete	(P)	Jun. 1996
Edelnor (Cons.)	(P)	Jul. 1994
Emsemsa	P	-
Electro Norte Medio	(P)	Nov. 1998
Electro Nor Oeste	(P)	Nov. 1998
Electro Norte	(P)	Nov. 1998
Electro Oriente	E	-
Electro Sur	E	-
Electro Sur Este	E	-
Electro Sur Medio	(P)	Feb. 1997
Electro Ucayali	E	-
Luz del Sur	(P)	Jul. 1994
Seal	E	-
Sersa	P	-

P: Privada, (P): Privatizada, E: Estatal.

La Tabla No. 8 muestra cómo las empresas que siempre han sido privadas, han sido, en media, las más eficientes en este período, seguidas de las empresas estatales y de las privatizadas, que ocupan el último lugar. Debemos apuntar que en la privatización de estas empresas, el Estado puede conservar un porcentaje del capital, como en el caso de la empresa Edelnor, alrededor del 30%, aunque la mayoría queda siempre en manos privadas. Por tanto, del ejercicio empírico realizado podemos concluir que las empresas públicas actúan con una eficiencia media mayor a aquellas que fueron privatizadas. La regulación del mercado y la cercanía en el tiempo del proceso privatizador, pueden ser algunas de las causas que estén detrás de este resultado. Por el contrario, las empresas de titularidad privada que nunca han sido estatales, actúan con una eficiencia media bastante superior al resto de empresas estudiadas.

**Tabla No. 8**  
**Eficiencia media de las unidades productivas según su titularidad, 1995-1998**

	Privatizadas	Privadas	Públicas
Unidades	17	6	34
Eficiencia media	54,30	96,31	66,90

## 6. CONCLUSIONES

Entre los resultados obtenidos podemos señalar, en primer lugar, que la DEA puede ser una herramienta útil y versátil para la medición de la eficiencia relativa de unidades productivas homogéneas. En particular, esta técnica se muestra muy adecuada para el análisis de unidades suministradoras de un mismo servicio dentro del sector público. Así, cada vez más abundan, a lo largo de la literatura, los estudios que comparan la actuación eficiente de todo tipo de servicios públicos, aunque por la cuantía del gasto público empleado destacan sin duda los dedicados a escuelas y a hospitales. Parece por tanto necesario, con el fin de alcanzar un mejor control del gasto público, un mayor esfuerzo en la difusión, realización y generalización de este tipo de estudios en las economías latinoamericanas, que haga posible la liberación de recursos, ya sea para la mejora del servicio ofertado o para usos alternativos que mejoren el bienestar social.

En segundo lugar, dada la lenta evolución positiva de la eficiencia media a lo largo del periodo, consideramos que el sector no ha logrado ahorros de costos significativos, es decir, el paso del tiempo ha resultado ser no significativo a la hora de explicar los niveles de eficiencia alcanzados.

En tercer lugar, podemos concluir, dada la evidencia empírica, que el proceso de privatización, *per se*, no ha supuesto mejoras de eficiencia con respecto a las empresas estatales. Desde un punto de vista normativo, consideramos que la introducción de medidas encaminadas a garantizar la competencia pueden resultar incluso más significativas que el proceso privatizador, a la hora de lograr mejoras en eficiencia. Aumentos significativos en este sentido tenderán, sin duda, a aumentar el diferencial de eficiencia de la empresa privada frente a la pública y del sector de distribución de energía eléctrica en su conjunto.

## REFERENCIAS

- Albi, Emilio, José Manuel González-Páramo e Ignacio Zubiri, *Economía Pública I: fundamentos, presupuesto y costo. Aspectos macroeconómicos*, Barcelona: Ariel Economía, 2000.
- Banker, Rajiv D. y R. C. Morey, "Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs", en *European Journal of Operational Research*, vol. 34, No. 4, North-Holland: Elsevier Science B.V., 1986, pp. 513-521.
- Barrow, Michael y Adam Wagstaff, "Efficiency Measurement in the Public Sector: An Appraisal", en *Fiscal Studies*, vol. 10, No. 1, Inglaterra: Institute for Fiscal Studies, 1989, pp. 72-97.
- Bonifaz, José L y Martín Rodríguez, *Distribución eléctrica en el Perú: regulación y eficiencia*, Serie Diagnóstico y Propuesta, No. 3, Lima: Consorcio de Investigación Económica, CIUP, abril 2001.
- Burns, Phil y Tom Weyman-Jones, "Cost functions and cost efficiency in electricity distribution: a stochastic frontier approach", en *Bulletin of Economic Research*, vol. 48, No. 1, Cambridge: Frontiwier Economics, 1996.
- Charnes, Abraham, William Cooper y E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", en *European Journal of Operational Research*, vol. 2, North-Holland: Elsevier Science B.V., 1978, pp. 429-444.
- Debreu, Gerard, "The Coefficient of Resource Utilization", en *Econometrica*, vol. 19, No. 3, Chicago: The University of Chicago Press, julio 1951, pp. 273-292.
- Färe, Rolf, Shawna Grosskopf y C. A. Knox Lovell, *Production Frontiers*, Nueva York: Cambridge University Press, 1994.
- Farrell, Michael J., "The measurement of efficiency productive", en *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A (General)*, vol. 120, Parte 3, Londres: Blackwell Publishers, 1957, pp. 253-290.
- Ganley, Joe y John Cubbin, *Public sector efficiency measurement. Applications of Data Envelopment Analysis*, Amsterdam: Elsevier Science Publisher B.V., 1992.
- Lovell, C.A. Knox, "Production Frontiers and Productive Efficiency", en Fried, H.O., C.A. Knox Lovell y S.S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency*, Oxford: Oxford University Press, 1993, pp. 3-67.
- Mancebón, M. Jesús, "La evaluación de la eficiencia de los centros educativos públicos", Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 1996.
- Neuberger, Lelan G., "Two issues in the Municipal Ownership of Electric Power Distribution", en *The Bell Journal of Economics*, vol. 8, No. 1, California: Rand, 1977, pp. 303-323.
- Pablos, Laura de y Aurelia Valiño, *Economía del gasto público: control y evaluación*, Colección Tratados y Manuales (Economía y Empresa), Madrid: Ediciones Civitas 2000.
- Pedraja, Francisco y Javier Salinas, "Eficiencia del gasto público en educación secundaria: una aplicación de la técnica envolvente de datos", en *Hacienda Pública Española*, No. 138, España: Ministerio de Hacienda, Instituto de Estudios Fiscales, 1996, pp. 87-96.
- Pedraja, Francisco, Javier Salinas y P. Smith, "La restricción de las ponderaciones en el análisis envolvente de datos: una fórmula para mejorar la evaluación de la eficiencia", en *Investigaciones Económicas*, vol. 18, No. 2, Madrid: Fundación Empresa Pública, mayo 1994, pp. 365-380.
- Rodríguez Pardina, Martín, Martín Rossi y Christian Ruzzier, *Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana*, Serie Texto de Discusión, No. 15, Buenos Aires: Centro de Estudios Económicos de la Regulación, Instituto de Economía UADE, diciembre 1999.

- Santin, Daniel, *Eficiencia relativa de las Comunidades Autónomas en Enseñanza Secundaria: un enfoque socioeconómico*, Documento de Trabajo No. 9822, Madrid: Universidad Complutense, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, 1998.
- Tirole, Jean, "The Internal Organization of Government", en *Oxford Economic Papers*, vol. 46, Londres: Oxford University Press, 1994, pp. 1-29.
- Yunos, J. y D. Hawdon, "The efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: An Inter-country Comparison using DEA", en *Energy Economics*, vol. 19, No. 2, North-Holland: Elsevier Science B.V., 1997, pp. 255-269.

## ANEXOS

## Anexo No. 1

## Perú: muestra de empresas de distribución de energía eléctrica

Empresa	Año	Costo (000 nuevos soles)	Salario (nuevos soles)	Clientes	Ventas (MWh)	Densidad (Hab/km <sup>2</sup> )	Estructura (tasa)
Ede Cañete	1995	786	13.182	17.028	21.302	37	0,57
Edelnor (cons.)	1995	61.449	69.439	673.710	1.595.001	232	0,63
Electro Centro	1995	14.403	40.124	184.518	209.470	26	0,60
Electro Nor Oeste	1995	18.128	32.676	144.137	184.839	41	0,72
Electro Norte	1995	15.700	44.037	121.824	158.697	53	0,66
Electro Norte Medio	1995	33.109	31.646	238.464	290.080	53	0,63
Electro Oriente	1995	2.477	34.569	66.054	94.325	4	0,85
Electro Sur	1995	6.195	31.584	55.062	90.810	12	0,62
Electro Sur Este	1995	12.621	34.749	162.469	199.161	15	0,62
Electro Sur Medio	1995	13.477	25.649	80.696	123.793	22	0,61
Electro Ucayali	1995	569	13.070	25.929	27.541	8	0,61
Luz del Sur	1995	72.087	63.131	556.257	1.783.071	381	0,60
Seal	1995	15.035	31.220	154.048	226.731	13	0,65
Sersa	1995	76	5.333	2.892	2.288	114	0,64
Ede Cañete	1996	2.430	73.960	19.750	20.691	37	0,62
Edelnor (cons)	1996	93.017	88.505	789.191	1.656.214	235	0,63
Electro Centro	1996	14.101	37.110	213.012	197.027	27	0,59
Electro Nor Oeste	1996	10.784	38.415	147.101	173.688	41	0,66
Electro Norte	1996	12.302	47.046	130.815	157.189	54	0,65
Electro Norte Medio	1996	31.096	36.096	269.929	319.388	54	0,60
Electro Oriente	1996	5.750	75.032	68.625	94.320	4	0,84
Electro Sur	1996	8.588	36.987	63.990	89.181	12	0,64
Electro Sur Este	1996	17.072	39.593	181.272	207.548	15	0,58
Electro Sur Medio	1996	12.801	39.009	86.814	120.445	22	0,63
Electro Ucayali	1996	792	94.440	21.700	30.135	8	0,70
Luz del Sur	1996	150.015	75.775	602.860	1.906.810	389	0,57
Seal	1996	16.618	47.648	175.123	233.975	13	0,66
Sersa	1996	110	3.667	3.210	2.405	118	0,63
Coelvisa	1997	465	20.818	88	10.907	16	0,00
Ede Cañete	1997	2.243	45.211	21.318	21.935	38	0,66
Edelnor (cons)	1997	103.337	79.832	815.200	1.785.582	238	0,62
Electro Centro	1997	11.883	42.443	231.105	207.857	27	0,58
Electro Nor Oeste	1997	14.705	38.604	159.016	176.148	42	0,65
Electro Norte	1997	13.562	41.646	141.215	155.545	55	0,66
Electro Norte Medio	1997	32.231	41.814	290.472	345.849	55	0,61

continúa

(continuación)

Empresa	Año	Costo (000 nuevos soles)	Salario (nuevos soles)	Clientes	Ventas (MWh)	Densidad (Hab/km <sup>2</sup> )	Estructura (tasa)
Electro Oriente	1997	9.855	51.518	90.304	109.617	4	0,84
Electro Sur	1997	9.378	42.374	70.609	90.665	13	0,65
Electro Sur Este	1997	20.131	38.032	202.860	208.541	15	0,59
Electro Sur Medio	1997	11.907	31.297	89.680	120.088	3	0,64
Electro Ucayali	1997	948	51.459	20.831	28.654	8	0,69
Emsemsa	1997	239	12.692	4.472	3.984	65	0,80
Luz del Sur	1997	114.733	74.117	628.264	2.027.898	398	0,58
Seal	1997	15.959	39.890	189.327	235.804	13	0,64
Sersa	1997	110	10.600	3.340	2.390	122	0,66
Coelvisa	1998		22.846	132	16.278	16	0,00
Ede Cañete	1998	2.802	43.158	22.202	35.437	39	0,42
Edelnor (cons)	1998	128.800	85.069	832.206	2.473.528	242	0,49
Electro Centro	1998	22.757	45.269	249.531	279.143	27	0,49
Electro Nor Oeste	1998	20.973	57.069	161.685	277.992	43	0,41
Electro Norte	1998	14.842	33.080	141.497	208.378	56	0,48
Electro Norte Medio	1998	41.046	56.582	286.190	479.582	55	0,45
Electro Oriente	1998		60.292	91.296	149.497	4	0,65
Electro Sur	1998	9.253	59.355	76.199	143.550	13	0,42
Electro Sur Este	1998	30.096	45.110	225.542	246.883	16	0,51
Electro Sur Medio	1998	12.217	30.757	94.896	245.243	22	0,31
Electro Ucayali	1998	1.152	76.100	24.230	68.265	9	0,38
Emsemsa	1998	246	16.000	4.379	4.254	64	0,82
Luz del Sur	1998	125.832	78.758	643.907	2.789.050	407	0,47
Seal	1998	17.099	55.731	192.650	328.747	14	0,47
Sersa	1998	123	10.333	3.331	2.807	125	0,73

Anexo No. 2  
Medidas de eficiencia relativa  
(En porcentaje)

Empresa*	Eficiencia (RCE)	Ranking (RCE)	Empresa*	Eficiencia (RVE)	Ranking (RVE)
SERSA96	100,00	1	EUCAY95	100,00	1
SERSA95	100,00	1	EORIE95	100,00	1
EUCAY98	100,00	1	EORIE96	100,00	1
EUCAY97	100,00	1	EMSE97	100,00	1
EUCAY96	100,00	1	ESURM98	100,00	1
EUCAY95	100,00	1	EUCAY96	100,00	1
ESURM97	100,00	1	EDECA98	100,00	1
EORIE95	100,00	1	ESURM97	100,00	1
EMSE98	100,00	1	EMSE98	100,00	1
EMSE97	100,00	1	EDECA95	100,00	1
ESURM98	99,68	2	EUCAY97	100,00	1
EDECA95	91,06	3	EUCAY98	100,00	1
EORIE96	90,63	4	SERSA95	100,00	1
SERSA97	89,33	5	SERSA96	100,00	1
EDECA98	84,56	6	SERSA97	92,12	2
EORIE97	83,20	7	SERSA98	90,00	3
SERSA98	81,11	8	EORIE97	85,27	4
ESUR98	76,08	9	ESUR98	76,10	5
EDECA96	72,07	10	EDECA97	72,67	6
EDECA97	69,21	11	EDECA96	72,22	7
SEAL98	66,52	12	ESUR95	71,40	8
ENOE98	66,36	13	ESUR96	68,84	9
ESUR95	65,87	14	ESUR97	67,86	10
ECENT98	61,79	15	SEAL98	67,65	11
ESURE98	61,15	16	ENOE98	66,91	12
ENORT98	60,87	17	ESURE95	65,19	13
ESUR96	60,72	18	SEAL95	64,57	14
ESURM95	60,27	19	SEAL97	64,14	15
ESURE96	59,93	20	ESURE96	64,06	16
ESURE95	59,58	21	SEAL96	63,89	17
ECENT97	58,91	22	ECENT97	63,37	18
ESURE97	58,45	23	ESURM96	63,19	19
ECENT96	58,14	24	ESURM95	62,99	20
ESUR97	58,11	25	ESURE97	62,72	21
SEAL95	57,34	26	ESURE98	62,24	22
ECENT95	56,86	27	ECENT96	61,98	23
ENME98	56,74	28	ECENT95	61,79	24
ESURM96	56,42	29	ECENT98	61,79	25

continúa

(continuación)

Empresa*	Eficiencia (RCE)	Ranking (RCE)	Empresa*	Eficiencia (RVE)	Ranking (RVE)
SEAL97	56,07	30	ENORT98	60,90	26
SEAL96	53,14	31	ENOES96	59,69	27
ENOES96	52,08	32	ENOES97	57,53	28
ENOES97	50,78	33	ENME98	56,76	29
LUZS98	48,83	34	ENOES95	56,53	30
ENORT96	48,64	35	ENORT96	56,07	31
ENME96	48,38	36	ENORT97	55,29	32
ENORT97	48,19	37	ENORT95	54,84	33
ENORT95	47,43	38	ENME96	51,50	34
ENME95	47,19	39	ENME95	50,92	35
ENOES95	46,89	40	ENME97	50,91	36
EDELN98	46,67	41	LUZS98	49,33	37
ENME97	46,66	42	EDELN98	47,34	38
LUZS95	40,58	43	LUZS95	41,16	39
LUZS97	40,13	44	LUZS97	40,79	40
LUZS96	39,89	45	LUZS96	40,54	41
EDELN95	39,18	46	EDELN95	39,87	42
EDELN97	37,88	47	EDELN97	38,65	43
EDELN96	37,55	48	EDELN96	38,42	44
Efic. Media	66,62		Efic. Media	70,18	

\* Coelvisa (COELV), Ede Cañete (EDECA), Edelnor (EDELN), Electro Centro (ECENT), Electro Nor Oeste (ENOES), Electro Norte (ENORT), Electro Norte Medio (ENME), Electro Oriente (EORIE), Electro Sur (ESUR), Electro Sur Este (ESURE), Electro Sur Medio (ESURM), Electro Ucayali (EUCAI), Emsemsa (EMSE), Luz del Sur (LUZS), Seal (SEAL).

Anexo No. 3

Evolución de la eficiencia de las empresas eléctricas: 1995-1998

